

# 计算机网络体系结构研究<sup>\*</sup>

夏梦芹 鲁珂 刘念伯 曾家智

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都610054)

**摘要** 计算机网络体系结构描述了计算机网络功能实体的划分原则及其相互之间协同工作的方法和规则。随着网络技术和应用的不断发展,目前广泛使用的层次型网络体系结构逐渐暴露出了部分问题,这就催生了各种新型网络体系结构的研究和尝试。本文在引出计算机网络体系结构定义的基础上,着重讨论了目前已经出现的层次型网络体系结构、面向对象网络体系结构、基于角色的网络体系结构和服务元网络体系结构四种网络体系结构的发展过程及其特点,并在最后对网络体系结构的发展方向进行了展望。

**关键词** 网络体系结构,层次,面向对象,角色,服务元

## On Computer Network Architecture Issue

XIA Meng-Qin LU Ke LIU Nian-Bo ZENG Jia-Zhi

(School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

**Abstract** Network architecture is a set of high-level design principles that guides the technical design of the network, especially the engineering of its protocols and algorithms. With the rapid development of the network technologies and applications, the layered network architecture, which is widely used at present, has been exposed several problems gradually. Accordingly there are lots of researches about the novel network architectures. Based on introduced the definition of the network architecture, this paper focuses on the develop processes and characters of the current existent four network architectures, which are layered network architecture, object oriented network architecture, role-based network architecture and service-unit based network architecture. The network architecture prospect is also discussed at the end of this paper.

**Keywords** Network architecture, Layer, Object oriented, Role, Service unit

## 1 引言

计算机技术和通信技术的结合对计算机系统的组织方式产生了深远的影响,自主互连的计算机共同组成了计算机网络。在计算机网络出现初期,如何有序构建出一个实用的计算机网络成为了各相关技术研究人员所共同关心的问题。基于对这一问题的思考和讨论,计算机网络体系结构这一概念逐渐浮出水面。

计算机网络体系结构<sup>[1]</sup>(以下简称网络体系结构),描述了计算机网络功能实体的划分原则及其相互之间协同工作的方法和规则。具体来说,网络体系结构描述了计算机通信过程中使用的机制和协议的基本设计原则,这些原则用以确保网络中实际使用的协议和算法的一致性和连贯性,同时在此基础上实现标准化以方便开发和使用。

一个网络体系结构应该包含以下内容:①如何为网络实体或组件命名;②如何协调处理命名、寻址、路由、分配等功能之间的关系;③如何确定网络实体或组件状态变化的时间和方式;④如何维护网络实体或组件的状态、处理其状态的变化;⑤如何对网络功能进行合理的划分,并以模块化的方式予以实现;⑥网络资源的分配原则及其在实体或组件上的实现机制;⑦如何保证网络安全;⑧如何实现网络管理;⑨如何满足不同的 QoS(Quality of Service)需求。

当前广泛使用的层次型网络体系结构是在计算机网络出现初期产生发展完善起来的。随着网络应用和网络技术的蓬勃发展,人们对网络服务的高效性、可靠性、多样性等提出了更高的要求。层次型网络体系结构的特点导致将新的技术、标准、协议引入现有的网络出现了困难,此外不同层次中的冗余操作导致网络性能下降也是亟需解决的问题<sup>[2]</sup>。

针对上述问题,业内人士从两个方面进行了研究和探索:一是在层次型网络体系结构的基础上进行修补,使用某些不符合层次型网络体系结构规定的方法来满足不同应用和技术的需求;二是研究开发新型网络体系结构,目前已经出现的新型网络体系结构有面向对象网络体系结构、基于角色的网络体系结构和服务元网络体系结构。

本文主要讨论了网络体系结构的产生发展过程及其原因,具体介绍了上述四种网络体系结构各自的发展过程及其特点,最后展望了网络体系结构在未来的发展方向。

## 2 层次型网络体系结构

层次型网络体系结构是计算机网络出现以后第一个被提出并实际使用的网络体系结构。直到目前,其产生和发展的过程始终与计算机网络产生和发展的过程保持协调一致。

为了简化网络设计与实现的复杂性,层次型网络体系结构将复杂的网络问题分解为若干个不同的小问题,每个层次

<sup>\*</sup>国家自然科学基金资助项目,编号:69871005。夏梦芹 博士研究生,主要研究方向:新型网络体系结构。鲁珂 讲师,博士研究生,主要研究方向:新型网络体系结构。刘念伯 博士研究生,主要研究方向:新型网络体系结构。曾家智 教授,博导,主要研究方向:计算机网络与通信。

专注于解决特定的问题,这样就比较容易对所解决本层次涉及的问题实现模块化和标准化。标准化的层次间的通信规则被称为协议。

层次型网络体系结构是层和协议的集合<sup>[3]</sup>。体系结构的描述包含了足够的信息,使实现者可以用来为每一层编写程序和硬件,并使之符合有关协议。

典型的层次型网络体系结构通信模型如图1所示。

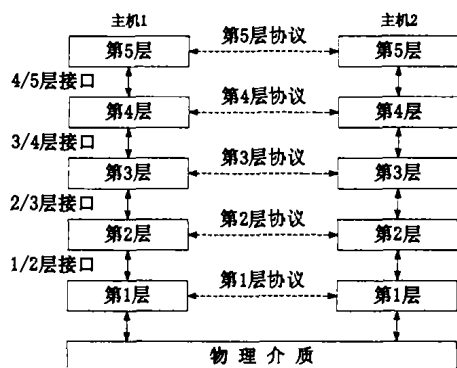


图1 层次型网络体系结构通信模型图

层次型网络体系结构首先提出了模块化的设计实现思想:将复杂的网络问题分解为较为单纯易于解决的小问题;用不同的模块解决不同的问题。不同的模块之间接口简单明确,因此可以各自独立地制定标准和进行开发。这一思路即使在后来出现的其他网络体系结构中仍然得到了遵循。

国际标准化组织 ISO 为层次型网络体系结构设计了 OSI 参考模型。该模型将网络自底向上划分为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层七个层次,每个层次完成经过分解的特定的网络工作。OSI 参考模型规定了每个层次需要完成的工作,并对完成工作的方式和标准提出了建议。

尽管 OSI 参考模型的设计比较理想和精确,但是由于其不合适的提出时机和缺乏网络实际研发机构和组织的支持,因此最终并未流行开来成为实用的架构。

与 OSI 参考模型从理论到实际应用的途径正好相反,目前广泛使用的 TCP/IP 参考模型的第一次出现是作为 Berkeley UNIX 操作系统的一部分,由于其免费好用,同时能够较好解决异种网络互连问题,很快就吸引了—个庞大的用户群,这又反过来推动了其发展改进并形成标准,最终成为当前互联网事实上的体系结构标准。

TCP/IP 模型将网络划分为四层:网络接口层设计处理机械、电气、过程方面的接口,选择物理介质,确保相邻节点间帧的正确传送;互联网层确保源节点和目的节点间包的正确传送,实现选径、拥塞控制、记账和异种网络互连功能;传输层确保源节点某进程和目的节点某进程间报文段的正确传送;应用层则解决应用的共性问题,为各种不同的应用提供服务和接口。

除开 OSI 七层参考模型和 TCP/IP 四层模型以外,ATM 的四层模型和早期的 SPX/IPX 五层模型也属于层次型网络体系结构,但是在模型的理想化和实用范围方面无法与 OSI 和 TCP/IP 相提并论,在此不再赘述。

随着计算机网络的不断发展,新增技术和应用需求层出不穷。很多网络新增功能不可能安置在某个特定层次中,需要不同层次通过复杂机制协同完成,这样不但极易造成机制混乱,而且很难避免功能冗余,直接影响网络效率。

针对上述问题,业界有两种不同的解决思路:一是在原有

层次型网络体系结构基础上,为各种新增协议和机制设计特别规则,使之不必受到层次化结构的约束,以满足实际应用需求;二是彻底摆脱层次的束缚,研究开发新型的非层次的网络体系结构。

### 3 面向对象网络体系结构

在各种新型网络体系结构的研究中,最早公布研究成果的是关于面向对象网络体系结构的研究。

上个世纪90年代,Stefan Boecking 提出了面向对象网络体系结构的思想<sup>[4]</sup>。面向对象网络体系结构模块划分的基本元素是对象,它将网络系统分解为一组服务对象,然后将对象结构化层和面。同层次型网络体系结构类似,面向对象网络体系结构各层的对象同样利用其相邻低层对象所提供的服务完成其服务;此外面向对象结构在纵向的层次之外还定义了横向的一组面,不同层次但是同一面中的对象可以协作完成某些网络功能,这样就可以把层服务引导到通信管理、组装、访问、控制和传输等特定方面的问题上去。

面向对象网络体系结构模型如图2所示。这种体系结构是对象和协议的集合。其主要组成部分仍然是提供通信服务的网络通信协议,不过协议的具体实现方式采用面向对象的模块化方式,具有对象所固有的封装性、信息隐蔽性、抽象性、继承性,使得协议的实现和组装变得更为简单灵活,同时还可以避免部分不同协议之间功能冗余造成的网络效率低下;面向对象网络体系结构还引入了面的概念,使得不同层次合作完成某一特定网络功能成为了可能,满足了解决网络问题的实际需要。

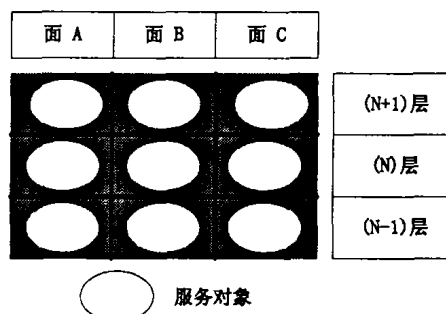


图2 面向对象网络体系结构模型图

Stefan Boecking 于1995年为面向对象网络体系结构提供了一个理想化参考模型——模块化通信系统构架 (Modular Communication System, MCS)。

MCS 依照一个已经定义的层和面的集合将服务对象进行分类,层提供垂直分类,面提供水平分类。

与 OSI 或者 TCP/IP 参考模型不同的是, MCS 只是一个抽象的系统建模框架,它甚至没有规定固定的层数和固定的面数,以方便人们利用该框架对任何网络通信系统进行建模。

作为对层次型网络体系结构改进的一种尝试, MCS 似乎没有得到业内人士的推崇,从其诞生到目前,除了在研究领域的小规模建模试验,还没有其他 MCS 使用状况的公布。

面向对象网络体系结构对层次型网络体系结构的改进并不彻底:对象之间没有任何机制可以保证不存在功能冗余;对层次结构的保留更是限制了部分网络功能的协作完成,为每一个有可能需要跨层完成的网络功能都建立一个独立的面导致的开销甚至不低于直接破坏层次结构各层的独立性所付出的代价。

### 4 基于角色的网络体系结构

不满于层次型网络体系结构的现状,美国国防部高级计划局 DARPA 设立了新型网络体系结构研究专项基金。在该专项资金资助下,麻省理工大学(MIT)、国际计算机科学研究所(ICSI)、USC 信息科学研究所计算机分所三个单位联合开始研究无层次的基于角色的计算机网络体系结构。

2002年10月,Braden 等人为了解决层次型网络体系结构层间交互和难于扩展新的服务的问题,提出了一种无层次的基于角色的网络体系结构<sup>[5]</sup>。该结构要求将较大的协议(如 IP 或者 TCP)进行模块化重组,使其变成较小的单元从而与各种特定的任务对应起来。

作为一种无层次的网络体系结构,基于角色的网络体系结构使用称为角色的元素来组成通信系统。因为角色并未按层次来组织,因此角色之间的交互作用比传统的层次协议要丰富得多。

基于角色的网络体系结构是角色及其使用的协议堆的集合。角色对应一项具体的网络事务。网络数据被各个角色处理过程中可能使用多个网络协议,且使用协议的顺序也不像层次型网络体系结构中那样严格限定,而是可以根据具体情况灵活组合,从而能够满足各种不同应用的需求,这也就是协议堆与层次结构中的协议栈的区别所在<sup>[6]</sup>。

在基于角色的网络体系结构中,网络功能是由分布在不同节点上的角色协同完成的。在网络上传送的数据包中包含的角色功能头(Role-specific header, RSH)指明了对该数据包进行处理的角色类型和位置,此外还包含了处理过程中需要的原始数据。

角色与数据包的相互关系如图3所示。基于角色的网络体系结构可以有效去除层次型结构中各层功能的重复冗余,不同角色间的交互合作也没有层间交互的限制,易于设计实现新的角色满足新增应用的需求,具有良好的可扩展性,是当前使用的层次型网络体系结构替代者的有力竞争者之一。

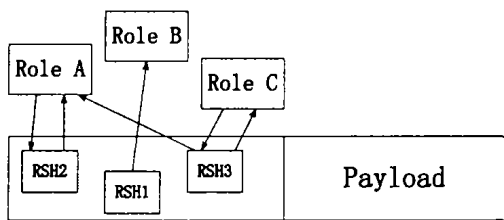


图3 角色与数据包关系图

根据已经公开的资料进行分析,基于角色的网络体系结构的理论研究在2002年已经取得了初步成果,目前正处在深入研究和构建原型网络阶段。

### 5 服务元网络体系结构

2002年,曾家智教授同样提出了一种无层次的服务元网络体系结构<sup>[7]</sup>。该结构中不再划分层次,其网络功能部件是服务元。各个服务元完成相对独立的网络功能,相互之间并不传递服务。不同服务元可以协调配合实现各种不同的网络功能,为应用提供各种不同的服务。与角色对应具体事务不同,服务元对应的是网络基本功能。

服务元网络体系结构是服务元及其相互之间交互使用的规则的集合。服务元是能够提供服务而又隐藏内部细节的最

小实体。服务元提供服务是通过服务数据单元 SDU 完成的。服务元是 SDU 的发送者(源)、接收者(目的)、转发者(递交)或变换者。按照启动服务的方式和与 SDU 的关系,服务元可以分为五类。

五类服务元模型如图4所示。由于每个服务元都完成一项基本网络功能,因此可以非常方便地对服务元系统进行扩展和定制;而服务元之间并不传递服务,这就确保了网络功能不会出现冗余,同时服务元之间的接口和交互非常简单。

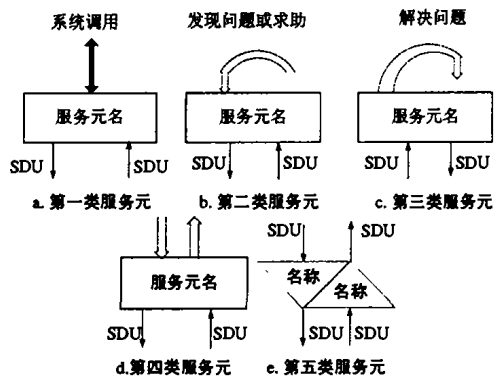


图4 五类服务元模型

服务元网络体系结构参考模型如图5所示。图中矩形和三角形中的  $S_{i,j}$  表示它是第  $i$  类服务元中的第  $j$  种服务元。多个不同类型的服务元共同组成了服务团队,为网络应用提供服务。

由服务元组合形成的网络系统逻辑简单、实现方便、高效无冗余、扩展性好、能够满足各种不同应用需求,易于满足现代应用向网络提出的保障安全、提高服务质量和多媒体信息宽带传输等方面的新要求。

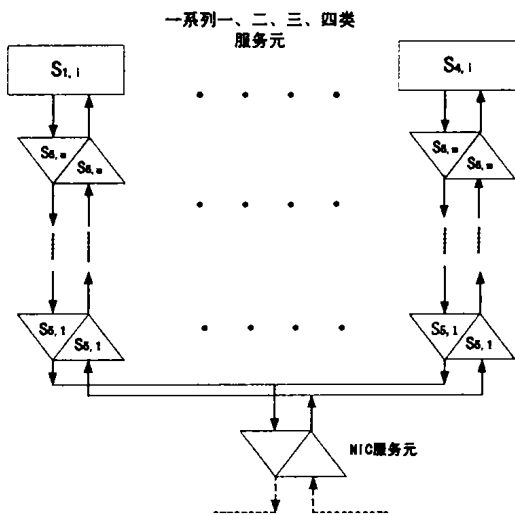


图5 服务元网络体系结构参考模型图

目前服务元网络体系结构的第一个参考模型——微通信元系统构架<sup>[8]</sup>正处在开发实现的过程当中。

小结 根据应用需求修补层次型网络体系结构和研发使用非层次型的网络体系结构,是计算机网络体系结构将来的两大发展方向<sup>[9]</sup>。

面对新增网络需求,对目前正在使用的层次型网络体系结构进行修补是最易于投入实用的手段,但在修补中使用的专用规则和机制容易造成协同完成某种功能的层次之间接口复杂、机制混乱(如对 QoS 功能的实现),不同层次之间也较难避免功能重复(如对差错校验功能的实现),这样就会导致

(下转第230页)

应理论所定义的信息函数  $I(\theta)$  刻画了能力水平估计的精度。随着考试题目的增加,  $I(\theta)$  的值就越大, 对考生能力的估计就越精确。因此, 当  $I(\theta)$  达到我们所需要的数值时, 考试就可以

结束。当然, 按照迭代法的思想, 我们也可以规定一个误差限  $\epsilon$ , 将最后两次作答所反映的能力水平  $\theta$  之差小于  $\epsilon$  作为考试终止的条件。

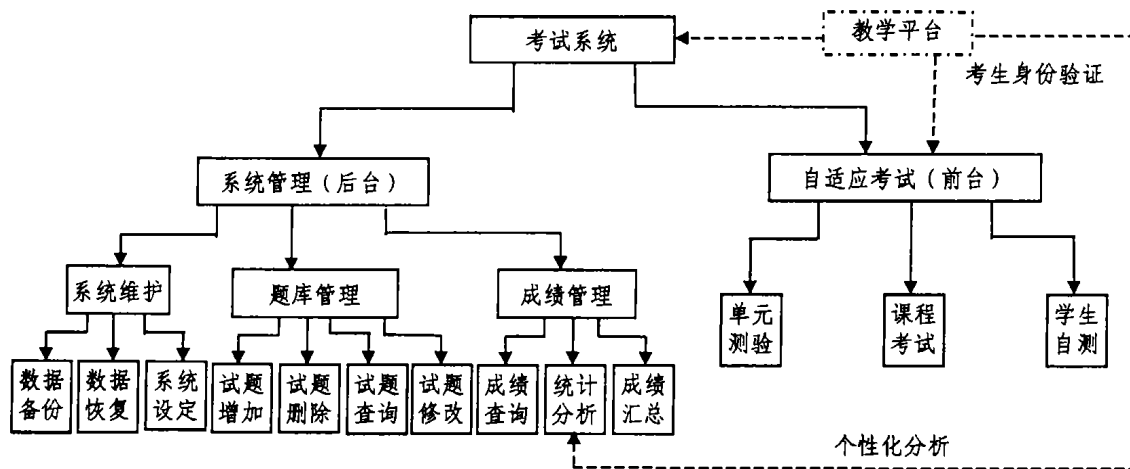


图2 考试系统设计图

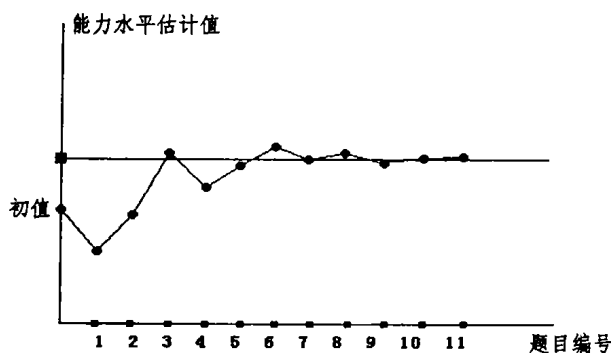


图3 自适应考试施测过程

#### 4.4 系统的接口设计

作为远程教学平台的一部分, 系统在设计过程中应实现与平台其它部件之间的接口。图2上的虚线划分了系统的边界。在实际应用的部署中, 尤其要注意与平台数据库中用户基本信息表在格式上的统一。应尽可能减小系统与平台之间的耦合程度, 增强系统的灵活性和可移植性。

**结论** 将项目反应原理应用于远程教学平台考试系统的设计开发, 关键在于项目反应模型的选取, 提出相应的参数估计方法, 并最终给出实施考试的算法。在模型的选择上, 本课题采用了 Logistic 模型。虽然目前人们在这方面还提出了其

他一些数学模型, 但有些模型已经过时, 有些仍处于实验阶段。而 Logistic 模型在理论和实践上都得到了较为充分的验证, 采用该模型能大大降低系统开发的风险, 也有利于与其他系统的集成, 发挥资源整合的优势。参数的估计问题是本课题的难点。极大似然估计法虽然能在多数情况下有效地估计出未知参数, 但该方法也还存在一些缺点: 如不能处理特殊反应模式, 伴随参数可能不存在充分统计量, 结构参数不一定是相合估计量等。而其它估计方法也有一些自身缺陷: 边际极大似然估计(MMLE)与 EM 算法虽然有助于消除伴随参数的影响, 但收敛速度太慢; 边际贝叶斯估计虽然可以解决特殊反应模式的问题, 但使用时必须先给出参数的先验分布, 如果这个先验分布一旦偏离实际情况较远, 则得到的结果可能会远离真实值。如何在不同条件下选择最佳的方法, 还有待进一步研究。

#### 参考文献

- 1 万勇, 于全训. 传统测验理论与项目反应理论(J). 山东师大学报, 1991, 66(3)
- 2 俞晓琳. 项目反应理论与经典测验理论之比较(J). 南京师大学报, 1998, (4)
- 3 吴军其. 计算机自适应测验软件模型研究(D). 华中师范大学, 2001
- 4 罗芬, 丁树良, 胡小松, 万宇文, 甘登文. 基于IRT若干参数估计方式的比较(J). 江西师范大学学报, 2003, 27(1)

(上接第106页)

网络效率低下, 甚至威胁到整个网络的可用性。

面向对象网络体系结构, 采用面向对象的思想对网络协议进行设计和开发, 并对不同层次中协同完成某种功能的对象进行有机组织, 是对新型网络体系结构研究的有益尝试。但它保留了层次的限制, 增大了网络系统的开销。

基于角色的网络体系结构和服务元网络体系结构, 同属于非层次型网络体系结构。它们根据网络事务或功能进行模块划分, 能够保证机制的一致性, 并避免网络功能的冗余重复, 提高网络效率。但二者能否实际投入使用仍取决于其后期研究和开发工作的进展情况。

#### 参考文献

- 1 Braden R, Clark D, Shenker S, et al. Developing a Next-Genera-

- tion Internet Architecture, Proc ACM SIGCOMM 2000, 2000
- 2 Clark D, Tennenhouse D. Architectural Considerations for a New Generation of Protocols. Proc ACM SIGCOMM 1990, 1990
- 3 Tanenbaumk A S. 计算机网络(第3版). 北京: 清华大学出版社, 1998
- 4 Boecking S. 面向对象的网络协议. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 5 Braden B, Faber T, Handley M. From Protocol Stack to Protocol Heap: Role-based Architecture. Proc ACM SIGCOMM 2003, 2003
- 6 鲁珂, 赵继东, 曾家智. 基于角色的网络体系结构与TCP/IP层次网络体系结构的比较研究. 计算机科学, 2004, 31(11): 53~54
- 7 Zeng Jiazhi, Xu Jie, Wu yue, et al. Service Unit Based Network Architecture. Proc PDCAT'03, 2003
- 8 曾家智, 徐洁, 吴跃, 等. 服务元网络体系结构和微通信元系统构架. 电子学报, 2004, 32(5): 745~749
- 9 Clark D, Wroclawski J, Sollins K, et al. Tussle in Cyperspace - Defining Tomorrow's Internet. Proc ACM SIGCOMM 2002, 2002